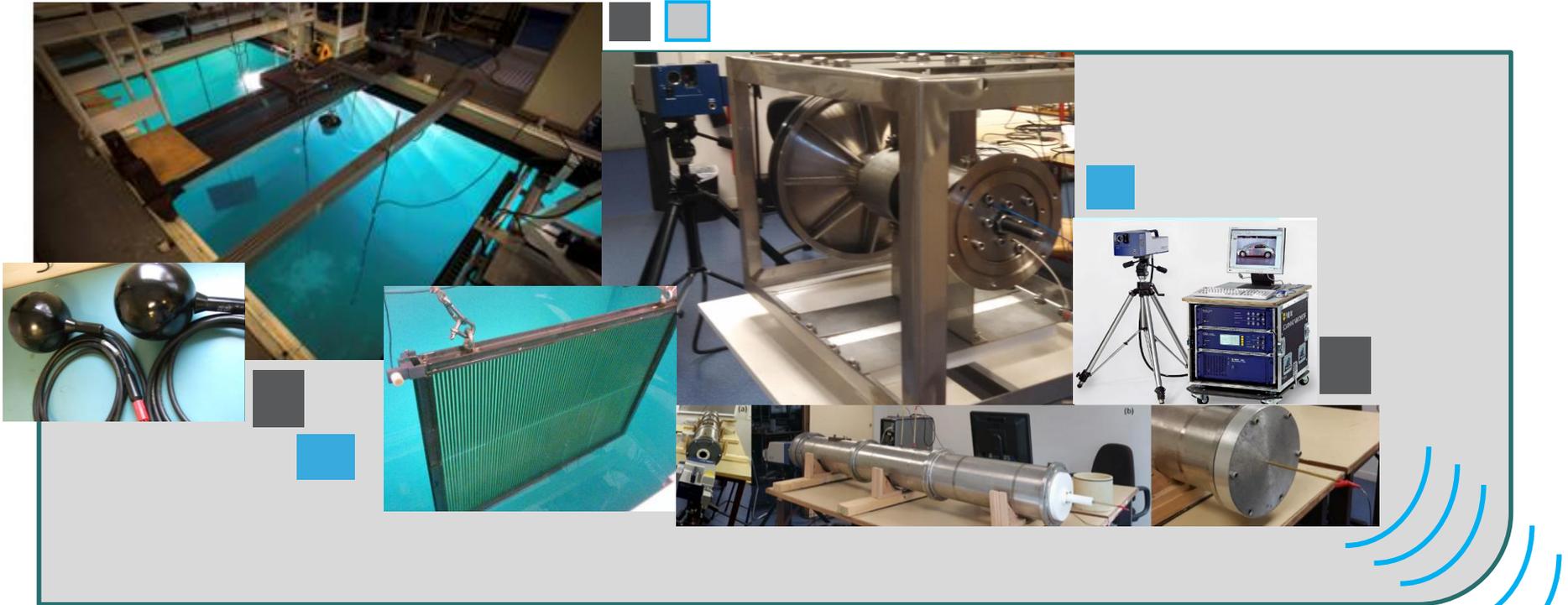


Laboratoire d'Acoustique
Département EPA

JUNIA ISEN



Mesures en Acoustique Sous-marine

Bassin d'essais acoustiques

Journées EXACT6 3-5 juillet 2024



M. POUILLE - FAVRE



Agenda

Introduction

Caractérisations propres du bassin d'essais acoustiques

Mesures types Caractérisation d'un émetteur / récepteur SONAR

Caractérisation de « matériau passif » en eau - Evaluation des coefficients de réflexion et transmission (R & T)

Conclusion et autres développements / perspectives de mesures

- Le bassin/ La cuve d'essais acoustiques, outil indispensable pour la mise au point de modules SONAR/ de matériaux utilisés en ASM
- En mesure, comme en calcul, quelque soit le domaine, on obtient toujours un résultat. La difficulté est d'en estimer **la pertinence et la précision** → important d'évaluer les précautions à prendre
- Un minimum de connaissance de l'élément/ l'objet qu'on souhaite mesurer pour appliquer la méthode de mesures la mieux adaptée

Références

- *Ouvrage de R.J. BOBBER « Underwater Electroacoustic Measurements »*
- *« Mesures acoustiques appliquées aux antennes SONAR » Christian GIANGRECO*
- *« Notice technique du bassin d'essais acoustiques ISEN » Christian GRANGER, Henri TOURNEUR, Gérard HAW et Jean-Noël DECARPIGNY*
- *Thèses de Pierre MERESSE et de Laetitia ROUX associées à la caractérisation de panneaux immergés et articles associés*

Agenda

Introduction

Caractérisations propres du bassin d'essais acoustiques

- Mesure du temps de réverbération
- Evaluation de la fréquence de coupure basse
- Mesure du niveau de bruit

Mesures types Caractérisation d'un émetteur / récepteur SONAR

Caractérisation de « matériau passif » en eau - Evaluation des coefficients de réflexion et transmission (R & T)

Conclusion et autres développements / perspectives de mesures

Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

Comme les parois de la cuve et les différents obstacles, qu'elle contient, génèrent des réflexions ou écho parasites (→ détérioration des conditions de champ libre), la méthode utilisée le plus couramment pour s'affranchir de ces perturbations est **l'utilisation de train d'ondes comme signal d'excitation.**

Fréquence de répétition: choisie pour que le nouveau train d'ondes arrive quand tous les échos du précédent ont complètement disparus. C'est pourquoi, il est important d'estimer le temps de réverbération.

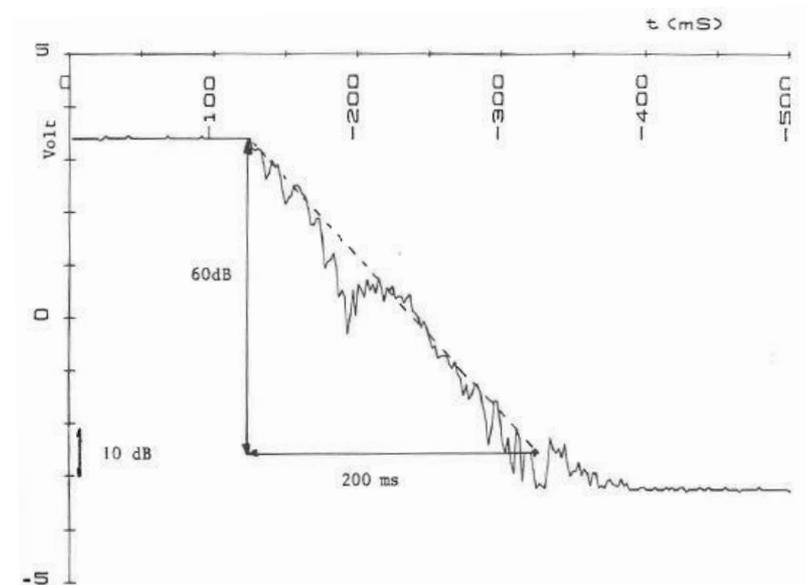
■ Mesure du temps de réverbération

Le temps de réverbération est le temps nécessaire pour atténuer un signal sonore d'un rapport généralement pris égal à 60 dB

→ Caractéristique de la cuve (dimensions géométriques, nature des parois et du terrain)

Relevé en établissant dans la cuve un signal sonore de fréquence pure, lorsque le régime permanent est bien établi, on stoppe l'excitation

→ Observation de la décroissance du signal détecté. (figure ci contre – Fréquence = 9 kHz)



Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

■ Evaluation de la fréquence de coupure basse

Pour réaliser une bonne mesure avec la méthode par train d'ondes, il faut observer les conditions suivantes (C1-C4)

➤ Réaliser des mesures acoustiques « en champ lointain »:

Le récepteur et l'émetteur doivent être éloignés d'une **distance minimale d** telle que

$$d > D^2/\lambda \quad (\text{critère de Rayleigh – planéité de l'onde}) \quad (\text{C1})$$

$$d > 5D_{tr} \quad (\text{atténuation de l'amplitude de l'onde}) \quad (\text{C2})$$

Avec

D la plus grande dimension de la face parlante du transducteur ou de l'objet à mesurer,

D_{tr} la plus grande dimension du transducteur et

λ la longueur d'onde acoustique dans l'eau:

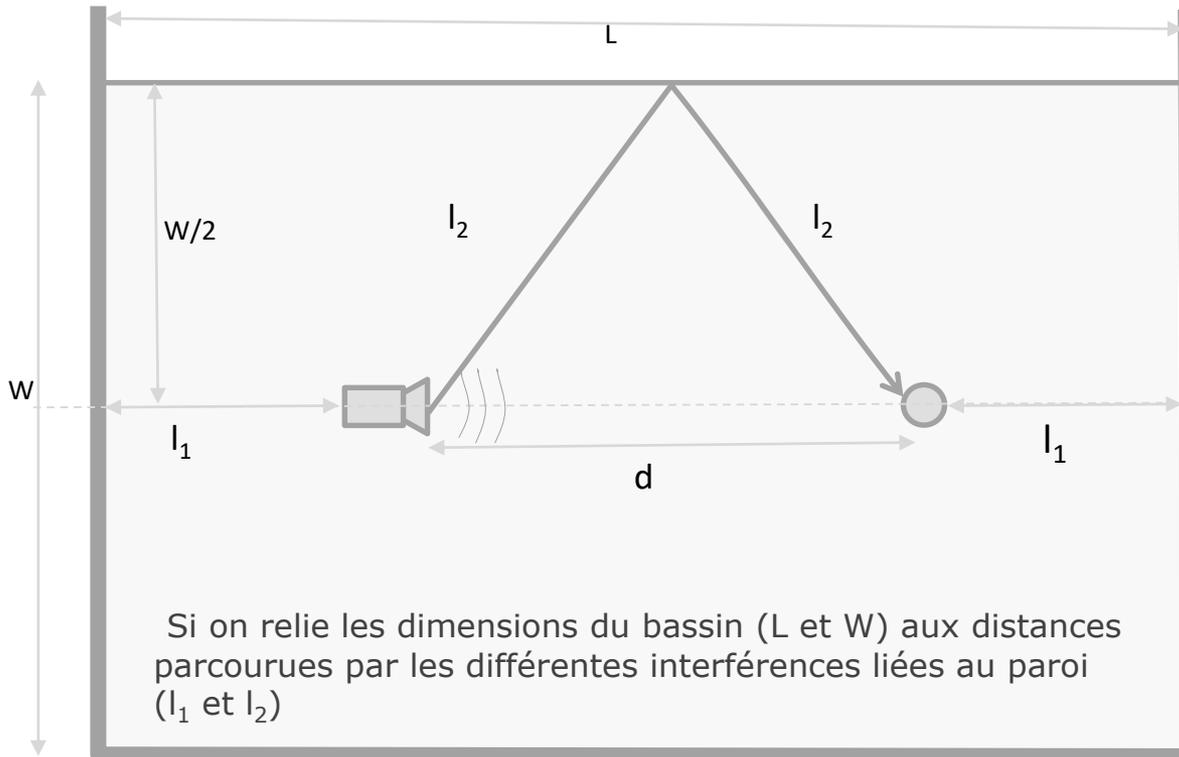
$$\lambda = c/F \quad \text{avec } c = \text{célérité dans l'eau (1500m/s)} \text{ et } F = \text{Fréquence étudiée}$$

Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

■ Evaluation de la fréquence de coupure basse (suite)

➤ Eviter une interférence entre signal utile et échos parasites,

Géométrie simplifiée du problème:



Si on exprime les temps de parcours de l'onde

Pour le trajet direct:

$$t_d = d/C$$

Pour le premier écho dans le sens de L:

$$t_{e1} = (d+2 l_1)/C$$

Avec $d+2 l_1 = L$

Pour le premier écho latéral ou de surface:

$$t_{e2} = 2 l_2/C$$

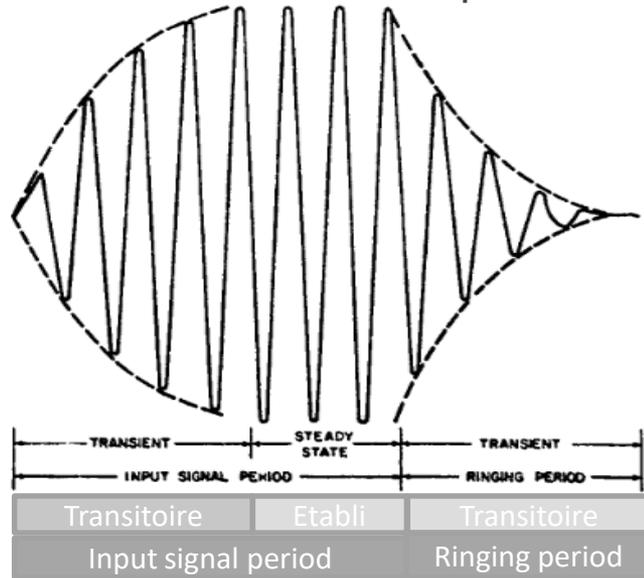
avec

$$l_2^2 = (W/2)^2 + (d/2)^2 \text{ soit encore}$$

$$2 l_2 = \sqrt{W^2 + d^2}$$

Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

■ Evaluation de la fréquence de coupure basse (suite)



Exemple: signal reçu d'un système (ayant un coefficient de qualité $Q=4$)

On considère que la longueur du régime transitoire (avant établissement) = $0.7 Q$ périodes en tolérant une erreur sur l'amplitude du signal établi n'excédant pas 10% (soit 1 dB) (90% du signal établi),

Distance parcourue par l'onde pendant l'établissement du régime permanent (établi) et de la mesure (1 période min)
 $= (0.7 Q + 1) \lambda$

Pour éviter une interférence entre signal utile et échos parasites,

Condition associée au premier écho des parois perpendiculaire à L (C3)

$$d + (0.7 Q + 1) \lambda \leq C t_{e1}$$

Soit encore
 $(L-d) \geq (0.7 Q + 1) \lambda$

Condition associée au premier écho sur les parois latérales, le fond et la surface (C4)

$$d + (0.7 Q + 1) \lambda \leq C t_{e2}$$

Soit encore
 $\sqrt{(W^2 + d^2)} - d \geq (0.7 Q + 1) \lambda$

Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

■ Evaluation de la fréquence de coupure basse (suite)

L'optimum est obtenu à la coïncidence d'arrivée des échos:

$$t_{e1} = t_{e2} \rightarrow L = \sqrt{(W^2 + d^2)}$$

$$(L-d) = (0.7Q + 1) \lambda = (0.7Q + 1) \frac{c}{F_{\text{coupure basse}}}$$

$$F_{\text{coupure_basse}} = (0.7Q+1) \frac{c}{(L-d)}$$

A.N. : pour une dimension de bassin $L=8\text{m}$ et $W=6\text{m}$, la coïncidence se produit pour $d=5\text{m}$ donc si on recalcule la fréquence correspondante à cette distance et sachant que pour un transducteur sonar classique (Q variant entre 5 et 10),

$F_{\text{coupure_basse}}$ varie entre 2 et 4 kHz.

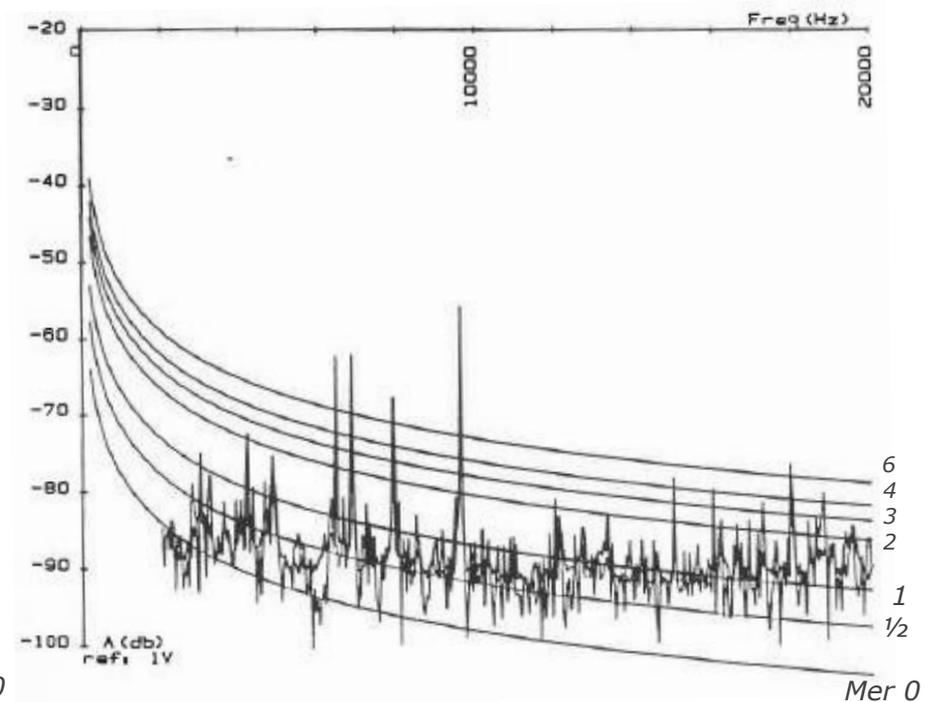
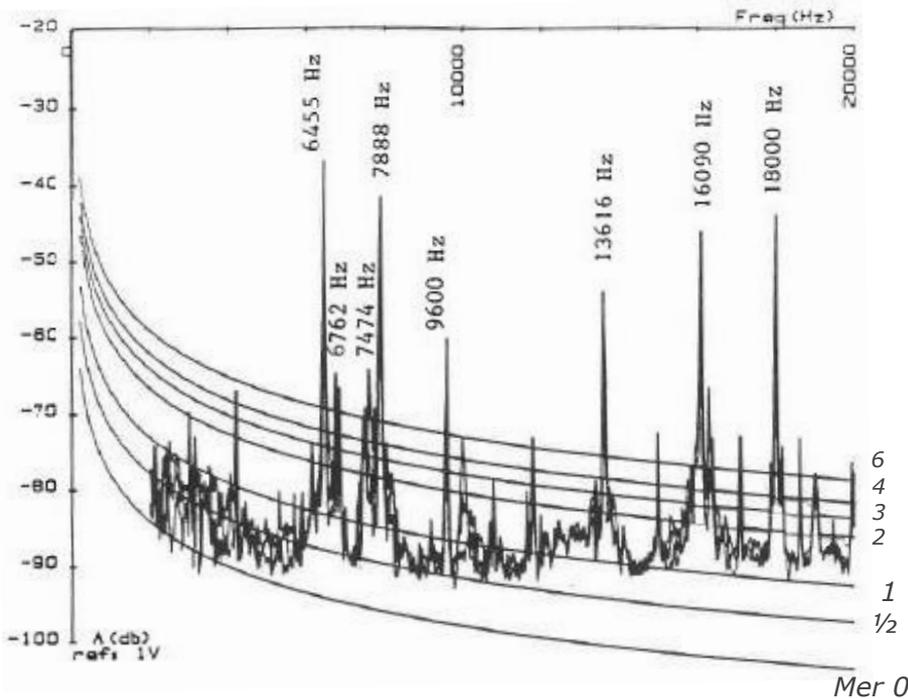
Toutefois dans la pratique une valeur de d de l'ordre de 3m est souvent suffisante. Alors c'est la condition (C4) qui devient prépondérante → **une valeur de la fréquence de coupure basse opérationnelle peut donc être prise égale à 3 kHz** (valeur correspondante au cas de la résonance).

Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

■ Mesure du niveau de bruit

Deux caractéristiques essentielles de la cuve de mesure acoustique sont

- le niveau de bruit propre (mesuré sans excitation) et

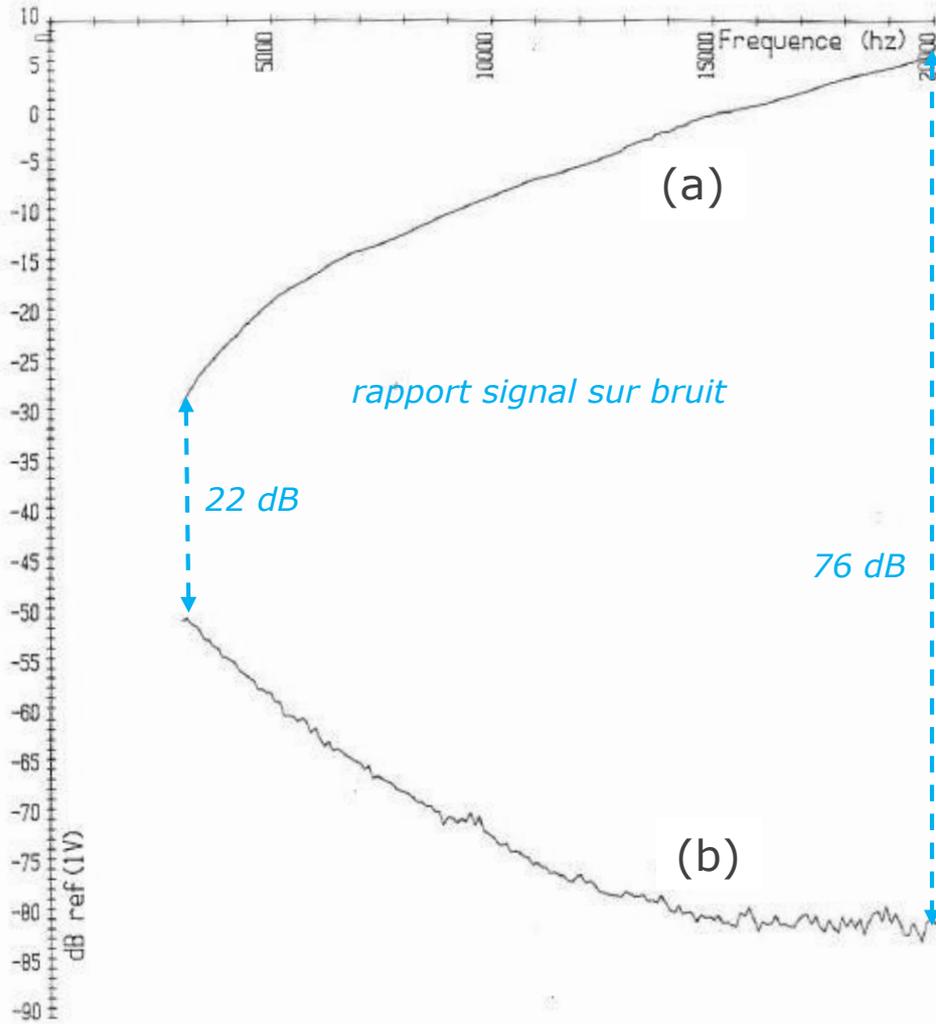


Après mise à la terre des superstructures métalliques

- le niveau de bruit global (chaîne comprise).

Caractérisations propres du moyen d'essais: le bassin

Mesure du niveau de bruit(suite)



Les origines

- Acoustiques: Niveau sonore donné dans la cuve
 - Agitation thermique (mouvement brownien)
 - Activité humaine (trafic routier, travaux publics....)
 - Causes naturelles (sismiques...)
- Liées aux appareils de mesures
 - Bruit thermique (source de tension parasite)
 - Bruit de Grenaille (source de courant parasite)
 - Bruit de commutation
- Electriques ou électromagnétiques
 - Isolement...

Figure ci contre: Exemple de résultat de mesure
 (a) signal reçu par l'hydro BK amplifié excité par projecteur MASSA
 (b) Bruit de la chaîne complète (BK et préampli.), MASSA non excité

Agenda

Introduction

Caractérisations propres du bassin d'essais acoustiques

Mesures types Caractérisation d'un émetteur / récepteur SONAR

- Introduction
- Petit rappel: les conditions de mesure
- La réponse par volt à l'émission (Sv ou TVR)
- La sensibilité à la réception (Sh ou OCV)
- La directivité
- L'impédance électrique

Caractérisation de « matériau passif » en eau - Evaluation des coefficients de réflexion et transmission (R & T)

Conclusion et autres développements / perspectives de mesures

■ Introduction

Les mesures en ASM ont pour but la détermination expérimentale des principales caractéristiques des transducteurs et groupements de transducteurs (antennes de réception et bases d'émission). Ces grandeurs caractéristiques sont:

- ❑ la réponse par volt à l'émission (Sv ou TVR),
- ❑ la sensibilité à la réception (Sh ou OCV),
- ❑ la directivité,
- ❑ l'impédance électrique.

D'autres caractéristiques souvent intéressantes peuvent être déduites de la mesure de ces 4 paramètres

- l'index de directivité,
- le rendement électroacoustique.
- La (les) fréquence(s) de résonance,
- Le(s) couplage(s) électromécanique(s),
- Le(s) facteur(s) de qualité électrique et mécanique...

Mesures Types - Caractérisation d'un émetteur/ récepteur SONAR

■ Petit rappel: Conditions de mesures

□ Champ lointain

L'onde incidente, reçue par l'hydrophone, doit avoir une amplitude qui décroît en $1/d$ (avec d distance entre le projecteur et l'hydrophone). Les critères énoncés précédemment C1, C2 permettent d'atteindre cette condition. Expérimentalement, **cette condition est testée aisément en modifiant la valeur de d .**

□ Champ libre

Le premier écho parasite ne doit arriver sur le récepteur qu'après l'établissement du régime permanent du signal direct et l'achèvement de la mesure. Cette condition concerne

- l'éloignement des transducteurs par rapport aux parois
- la durée du train d'ondes

Et donc les critères vus précédemment (C3 et C4).

De façon pratique, **la durée du train est réglée en observant le signal reçu à l'oscilloscope.**

La période de répétition, du train doit être toujours supérieure au temps de réverbération, pour s'assurer que les échos d'un train n'interfèrent pas avec la réponse du suivant.

□ Linéarité en tension

Le niveau d'émission doit être tel que le projecteur et l'hydrophone travaillent dans leur zone de linéarité, **ce qui se vérifie aisément en modifiant la tension d'excitation.**

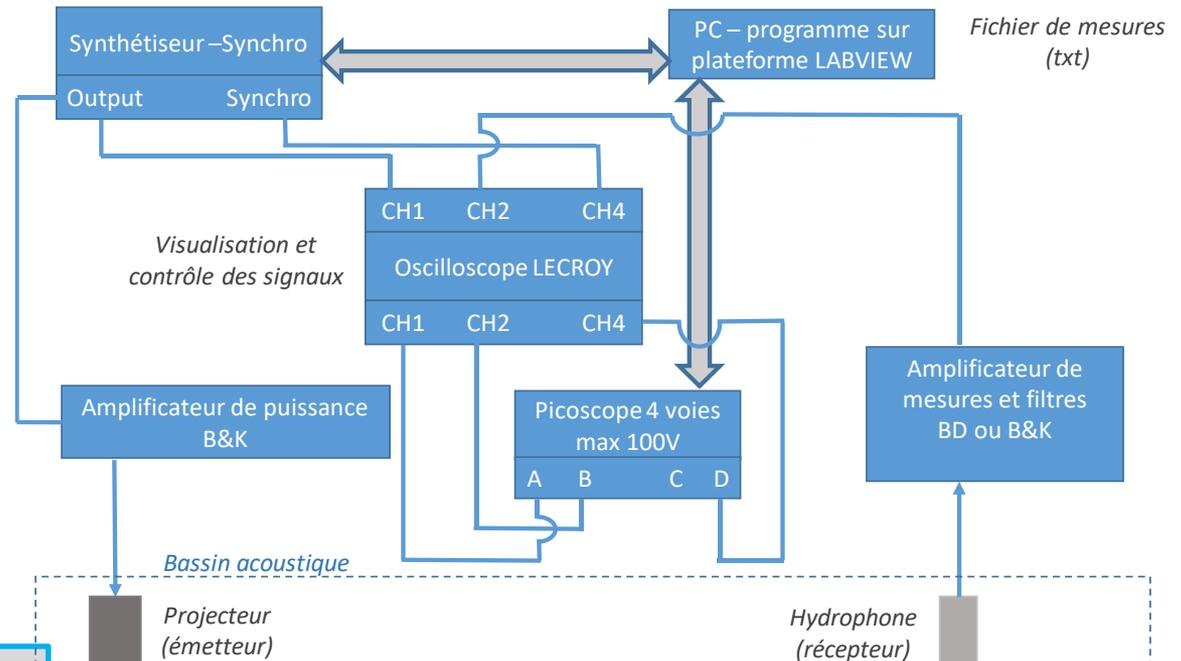
Mesures Types - Caractérisation d'un émetteur/ récepteur SONAR

■ Réponse par Volt à l'émission (Sv ou TVR) en dB référence 1μPa/V à 1m

La réponse par Volt à l'émission d'un transducteur électroacoustique est le rapport de la pression rayonnée (P) à la tension électrique appliquée au transducteur (U).

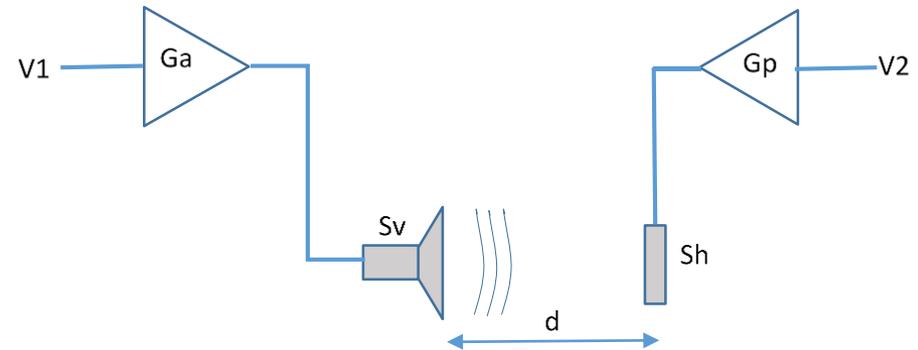
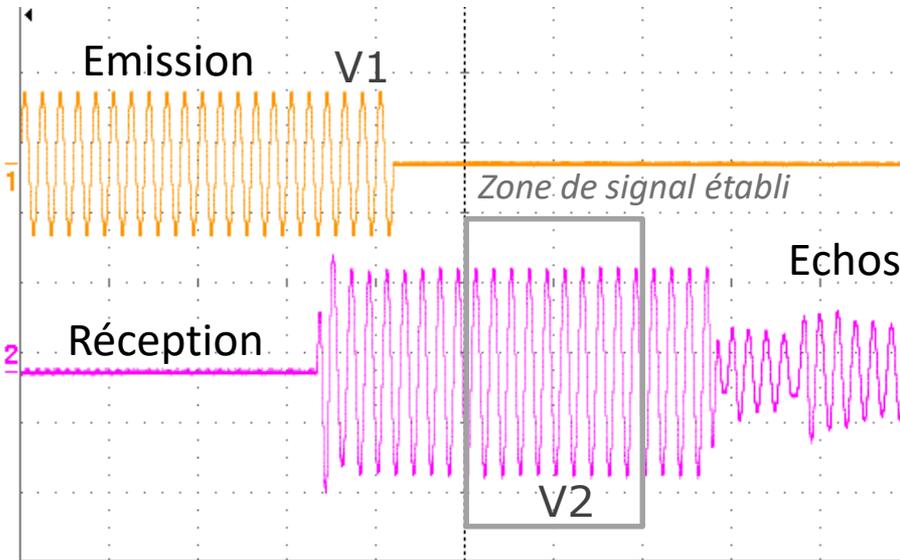
$$Sv = 20 \log_{10}(P/U) \text{ en dB réf } 1\mu\text{Pa/V ramené à } 1\text{m}$$

→ La valeur de pression retenue est mesurée dans le champ lointain puis ramenée à une distance de 1m du centre acoustique en utilisant la loi de décroissance en 1/d. La mesure de Sv en fonction de la fréquence peut s'effectuer avec le banc décrit ci-dessous:



Mesures Types - Caractérisation d'un émetteur/ récepteur SONAR

■ Réponse par Volt à l'émission (Sv ou TVR) en dB référence 1μPa/V à 1m (suite)



Des deux relevés de gauche, on déduit la réponse par Volt Sv à l'aide de la relation:

$$Sv = 20 \log_{10}(V2/V1) - Ga + 20 \log_{10}(d) - Sh - Gp$$

Avec *Ga* : gain de l'amplificateur appliquée sur V1 (en dB)
Gp: gain du préamplificateur de l'hydrophone appliqué sur V2 (en DB)
Sh sensibilité de l'hydrophone (en dB réf 1V/μPa)

■ Sensibilité à la réception (Sh ou OCV) en dB réf 1V/μPa

La sensibilité à la réception est définie pour tous les transducteurs électroacoustiques dans la norme A.S.A., S1.1 (1960 revue en 2013), comme étant le rapport de la tension de sortie du transducteur U , mesurée en circuit ouvert (d'où la dénomination américaine Open Circuit Voltage), à la pression sonore P en champ libre existant dans le champ acoustique non perturbé(*).

Le transducteur à qualifier placé dans un champ sonore et en champ lointain de la source émettrice, la tension à ses bornes (U) est relevée en circuit ouvert et si P est la pression acoustique à l'emplacement du transducteur avant l'introduction de celui-ci dans le champ sonore, on a alors

$$Sh = 20 \log_{10}(U/P) \text{ en dB réf } 1V/\mu Pa$$

On dispose de plusieurs méthodes pour déterminer la sensibilité absolue d'un transducteur:

- Par réciprocité
- Avec un projecteur étalonné**
- Par substitution

(*) champ d'ondes planes progressives (sauf spécifications contraires)

■ Sensibilité à la réception (Sh ou OCV) en dB réf 1V/μPa (suite)

□ **Par réciprocité**

Cette méthode donne les meilleurs résultats mais du fait de sa complexité, elle reste souvent réservée au contrôle d'étalons de mesure. Elle nécessite l'utilisation de 3 transducteurs (un uniquement en **projecteur P**, l'autre un **transducteur réciproque T** à la fois en projecteur et en hydrophone, et le dernier en **hydrophone H.**).

□ **Avec un projecteur étalonné**

Cette méthode rejoint la méthode pour déterminer le Sv. Mais cette fois ci l'étalon est l'émetteur dont le Sv est connu sur toute la bande de fréquence:

On exploite l'équation précédente mais en déterminant le Sh à partir du Sv:

$$Sh = 20 \log_{10}(V_2/V_1) - G_a + 20 \log_{10}(d) - Sv - G_p$$

□ **Par substitution**

Dans cette méthode la tension de sortie (V2) provenant l'hydrophone inconnu est comparée à celle (V2') d'un hydrophone étalon (ex B&K 8104), lorsqu'ils sont placés dans un champ sonore identique:

$$Sh = 20 \log(V_2/V_2') + Sh_{ref}$$

■ Directivité

La directivité d'un transducteur (émetteur ou récepteur) caractérise la variation de la réponse par volt à l'émission ou de la sensibilité à la réception de ce transducteur par rapport à sa valeur dans une direction d'observation privilégiée appelée axe du transducteur, ou référence 0 degré du transducteur. Le diagramme polaire donnant Sv ou Sh (dB) en fonction de l'angle θ (angle entre le point de mesure et l'axe privilégié) s'appelle diagramme de directivité.

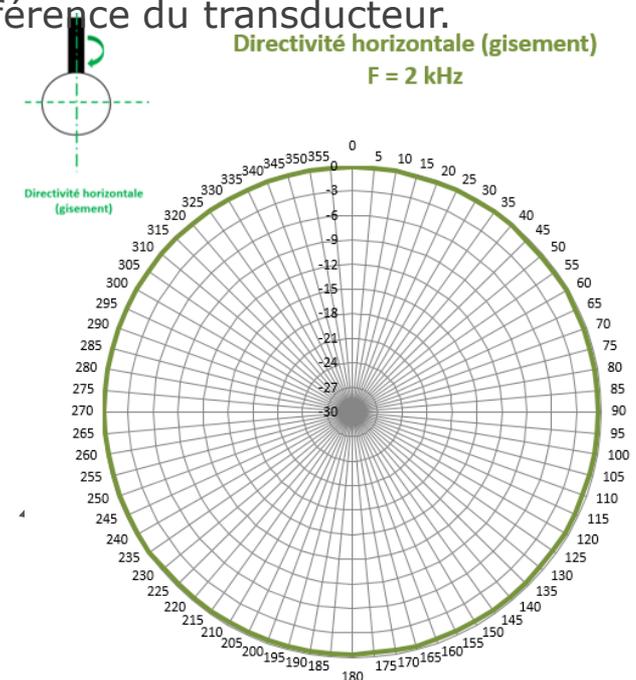
Ce diagramme caractérise la directivité dans un plan de référence du transducteur.

On parlera classiquement de directivité en gisement dans le plan de gisement, plan perpendiculaire à l'axe du transducteur et de directivité en site dans le plan contenant cet axe.

Les plans de référence du transducteur peuvent également être choisis tels que l'axe de référence Oz coïncide avec l'axe de sortie du câble d'alimentation (axe du connecteur).

Plan Oxz : directivité en site

Plan Oxy : directivité en gisement



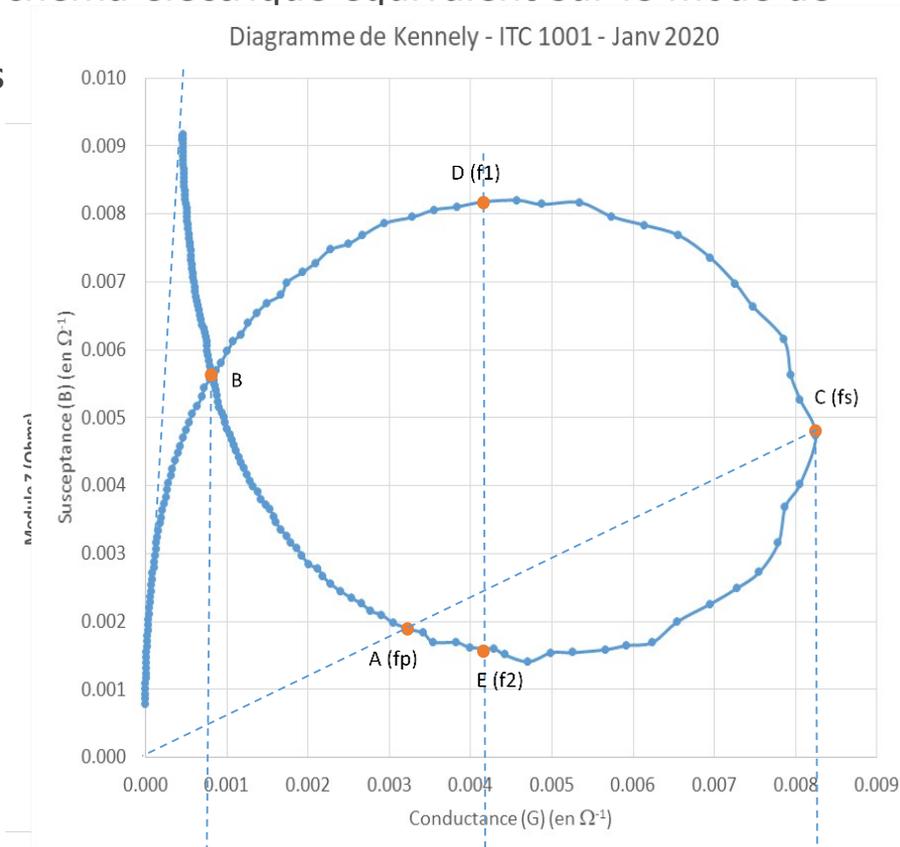
■ Impédance

La caractérisation complète d'un transducteur nécessite la connaissance de ses caractéristiques électriques sur la bande de fréquence d'intérêt pour permettre en particulier de le piloter par le biais d'un amplificateur qu'il faudra adapter en conséquence. Pour ce faire il est important de déterminer son schéma électrique équivalent sur le mode de résonance exploité.

Ce dernier peut-être calculé à partir des mesures d'impédance dans l'air.

Les mesures dans l'eau (transducteur immergé) permettent de déterminer l'impédance de rayonnement en exploitant le diagramme de Kenelly ainsi que le rendement électroacoustique du transducteur.

Ces mesures d'impédance sont faites à faible niveau en continu avec un analyseur d'impédance (ex Keysight).



Agenda

Introduction

Calibrations propres du bassin d'essais acoustiques

Mesures types Caractérisation d'un émetteur / récepteur SONAR

Caractérisation de « matériau passif » en eau - Evaluation des coefficients de réflexion et transmission (R & T)

- Introduction
- Méthode par insertion ou méthode directe
- Méthode 3 points
- Méthode 5 points
- Conclusions et perspectives des différentes méthodes

Conclusion et autres développements / perspectives de mesures

Mesures Types - Caractérisation de « matériau passif » en eau

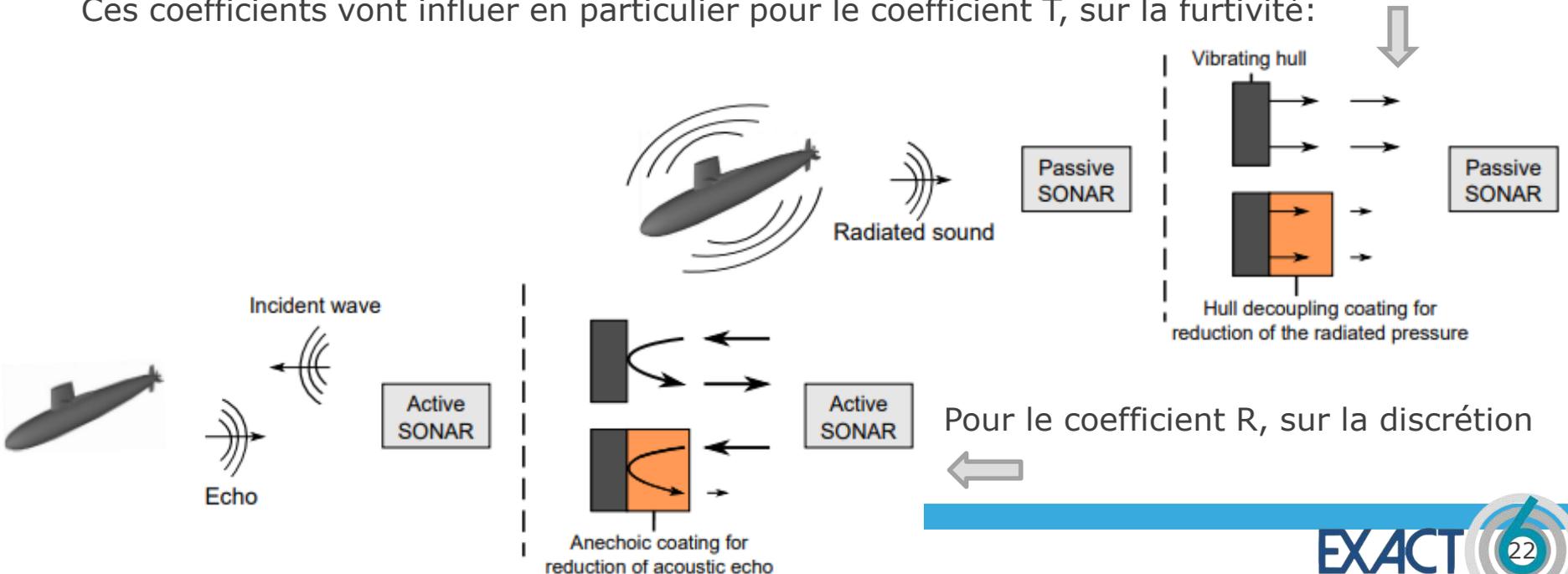
■ Introduction

Les matériaux étudiés en eau (au bassin) ont pour vocation d'être utilisés dans les systèmes SONAR, sur les structures navales ou plus largement sur des structures immergées.

Pour la conception de ces matériaux, il est nécessaire de connaître leur caractéristiques acoustiques pour pouvoir les utiliser de façon optimale en fonction de l'objectif recherché et donc en particulier:

- le coefficient de réflexion R du matériau
- le coefficient de transmission T du matériau.

Ces coefficients vont influencer en particulier pour le coefficient T , sur la furtivité:



Mesures Types - Caractérisation de « matériau » en eau

■ Introduction (suite)

Pour caractériser ces matériaux en eau:

Les points à considérer / les questions à se poser sont les suivant(e)s:

- Plage de fréquences d'intérêt → taille du bassin
- Comment on insonifie l'échantillon: caractéristiques/ performances de la source
- Taille de l'échantillon matériau dont on peut disposer ou dont on doit disposer
- Un minimum d'information sur l'échantillon à mesurer (« flottabilité » (densité), structuré ou non, nature a minima des matériaux à l'intérieur à perte ou non...)
- Quelles méthodes à adopter suivant le cas

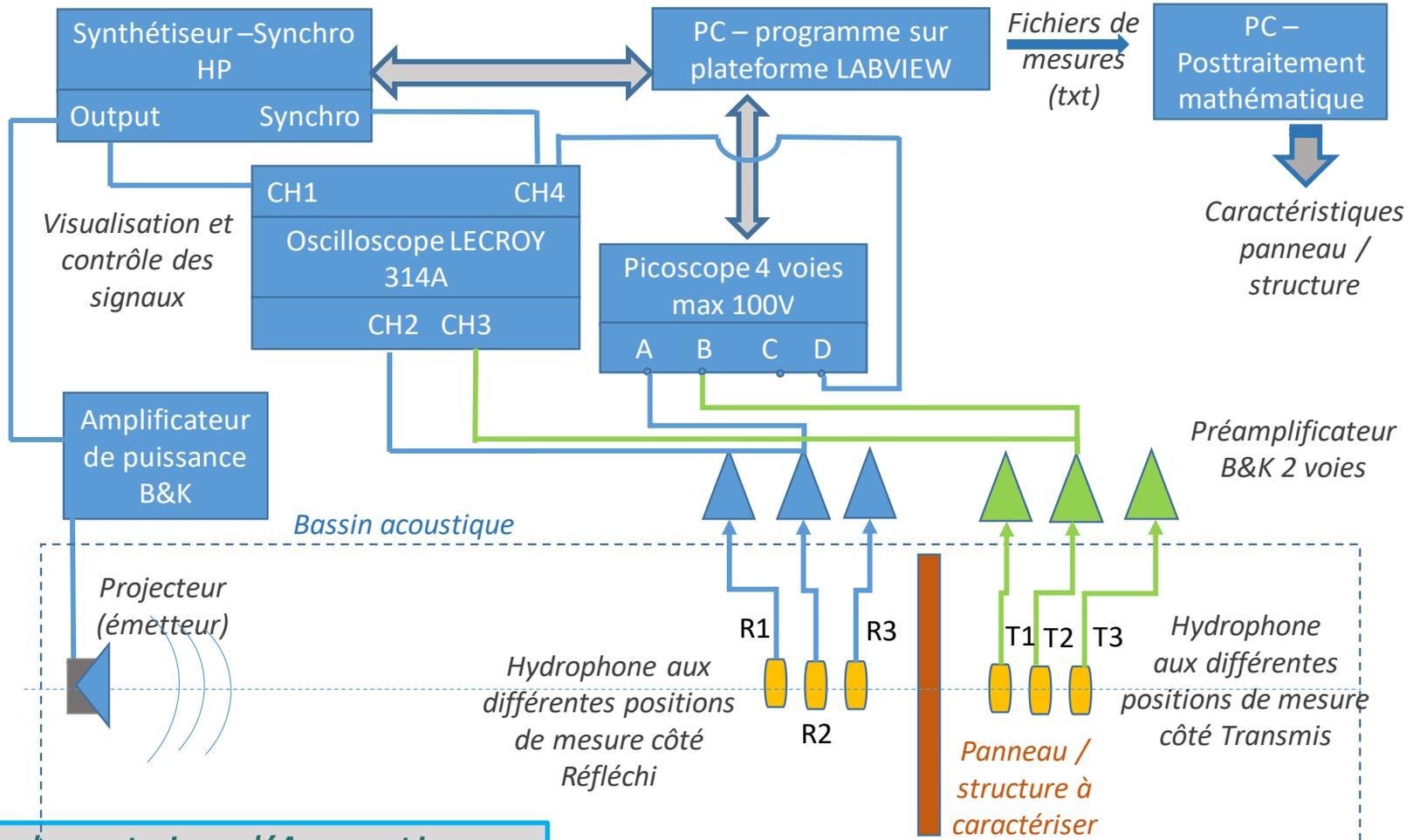
Les équipements dont on dispose

- Les hydrophones / les capteurs qui vont nous permettre de récupérer les information de pressions (pressions globalisées de part et d'autre du panneau)
- La source doit permettre d'insonifier le matériau de façon contrôlée en incidence normale ou incidence oblique (contraintes dimensionnelles du bassin)
- Le banc de positionnement: Système important de la manip qui va permettre de garantir la maîtrise des mesures et leur fiabilité
- La connaissance ou la mesure in situ de certains paramètres d'environnement comme la vitesse du son dans l'eau au moment et à l'endroit des essais, la température de l'eau.

Mesures Types - Caractérisation de « matériau » en eau

■ Introduction (suite)

La caractérisation de matériau en eau (caractérisation de panneaux) s'effectue avec le banc décrit ci-dessous :

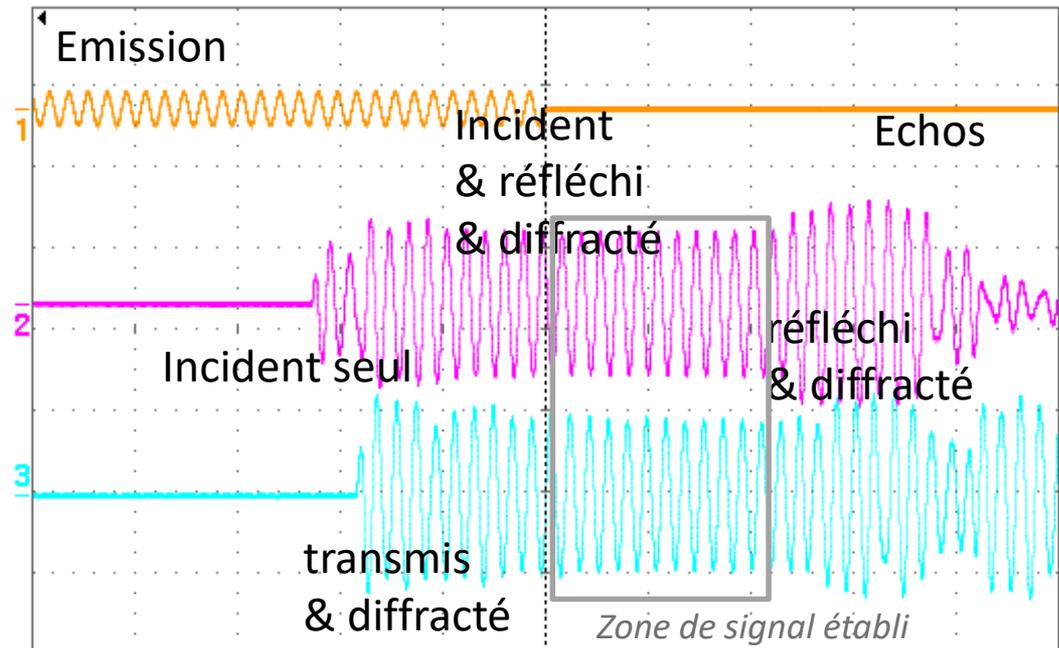


Mesures Types - Caractérisation de « matériau » en eau

■ Introduction (suite)

Pour réaliser les mesures, on travaille comme précédemment en train d'ondes. On émet une onde à une fréquence donnée à l'aide d'une source située à environ 3m du panneau, et on mesure la pression avant (côté réfléchi) et après (côté transmis) le panneau à l'aide de petits hydrophones B&K type 8103.

La problématique de la mesure:



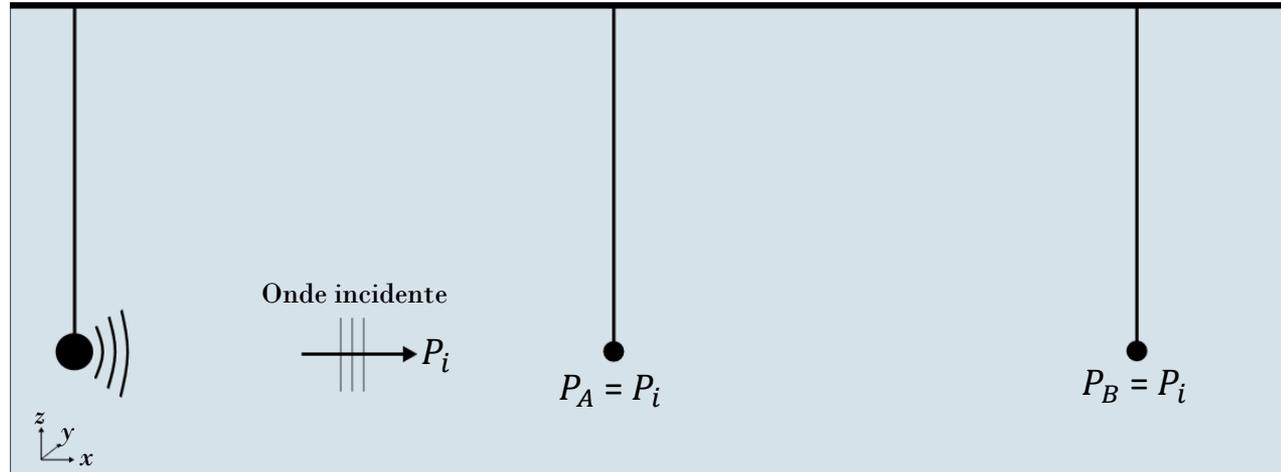
Plusieurs méthodes sont pratiquées:

- Méthode par insertion ou méthode directe qui est complétée par un moyennage spatial
- Méthode 3 points (développée à l'ISEN) (thèse P. MERESSE & thèse L. ROUX)
- Méthode 5 points (en cours de validation à l'ISEN) (thèse L. ROUX & en doctorat C. LARCADE)

Mesures Types - Caractérisation de « matériau » en eau

■ Méthode par insertion ou méthode directe

1ère mesure



$$R = \frac{P_{A'} - P_A}{P_A}$$

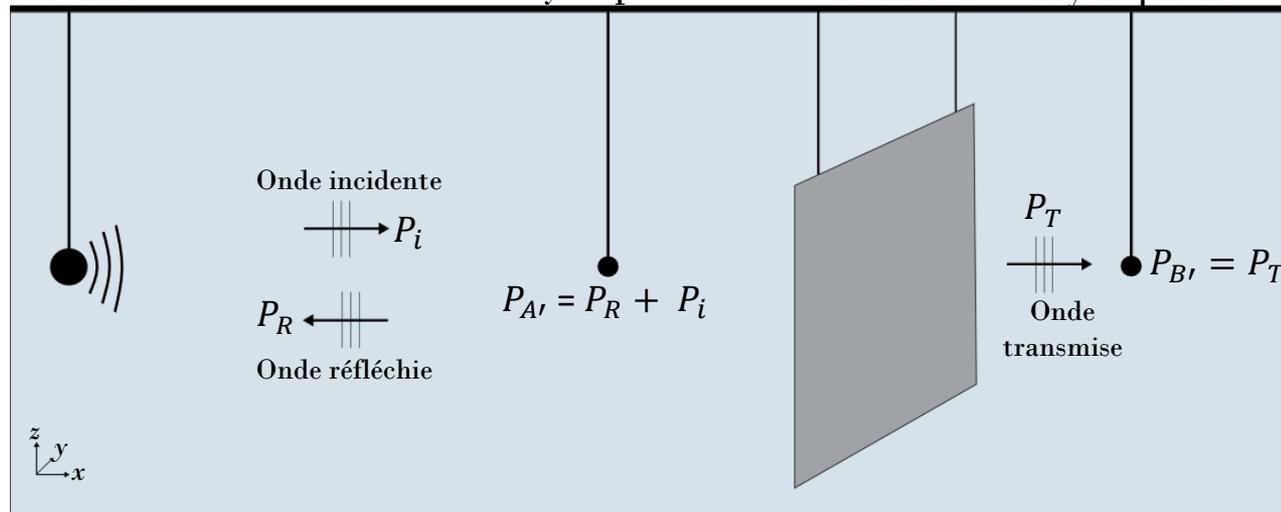
Source

Hydrophone

Panneau

Hydrophone

2ème mesure



$$T = \frac{P_{B'}}{P_B}$$

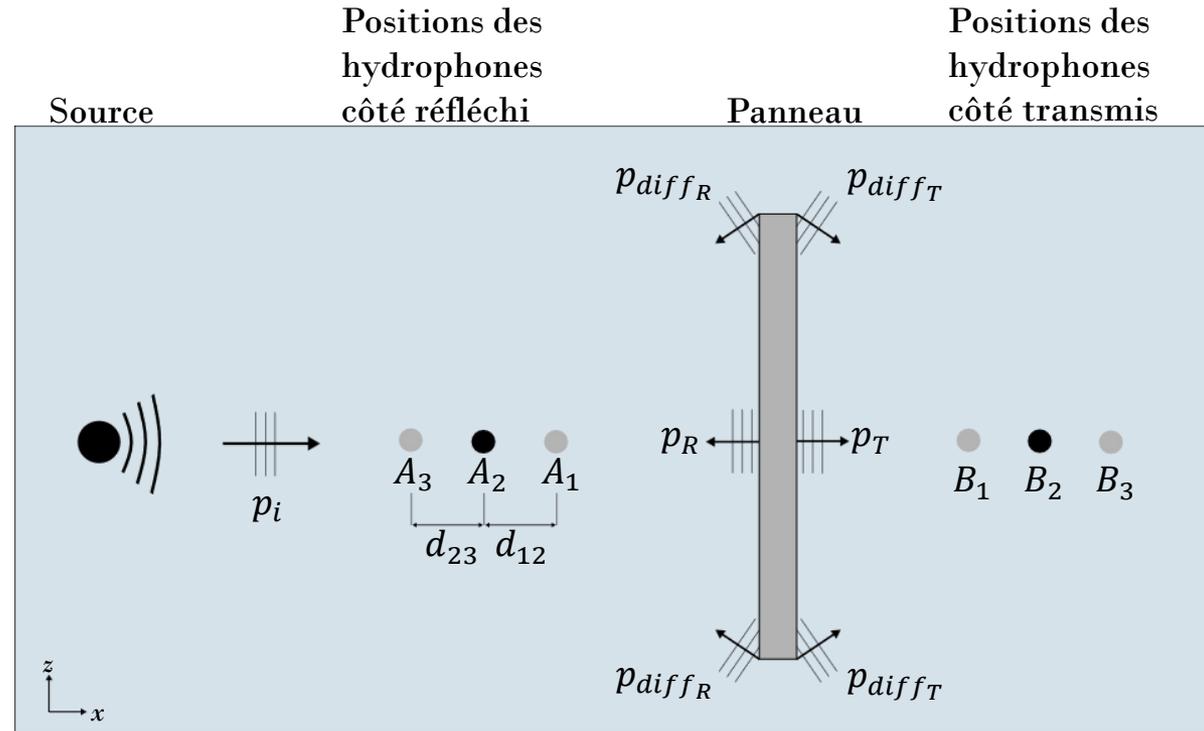
Mesures Types - Caractérisation de « matériau » en eau

■ Méthode 3 points

Hypothèses:

$$p_{diff_R}(A1) = p_{diff_R}(A2) = p_{diff_R}(A3) = p_{diff_R}$$

$$p_{diff_T}(B1) = p_{diff_T}(B2) = p_{diff_T}(B3) = p_{diff_T}$$



On obtient le système d'équations
Côté réfléchi:

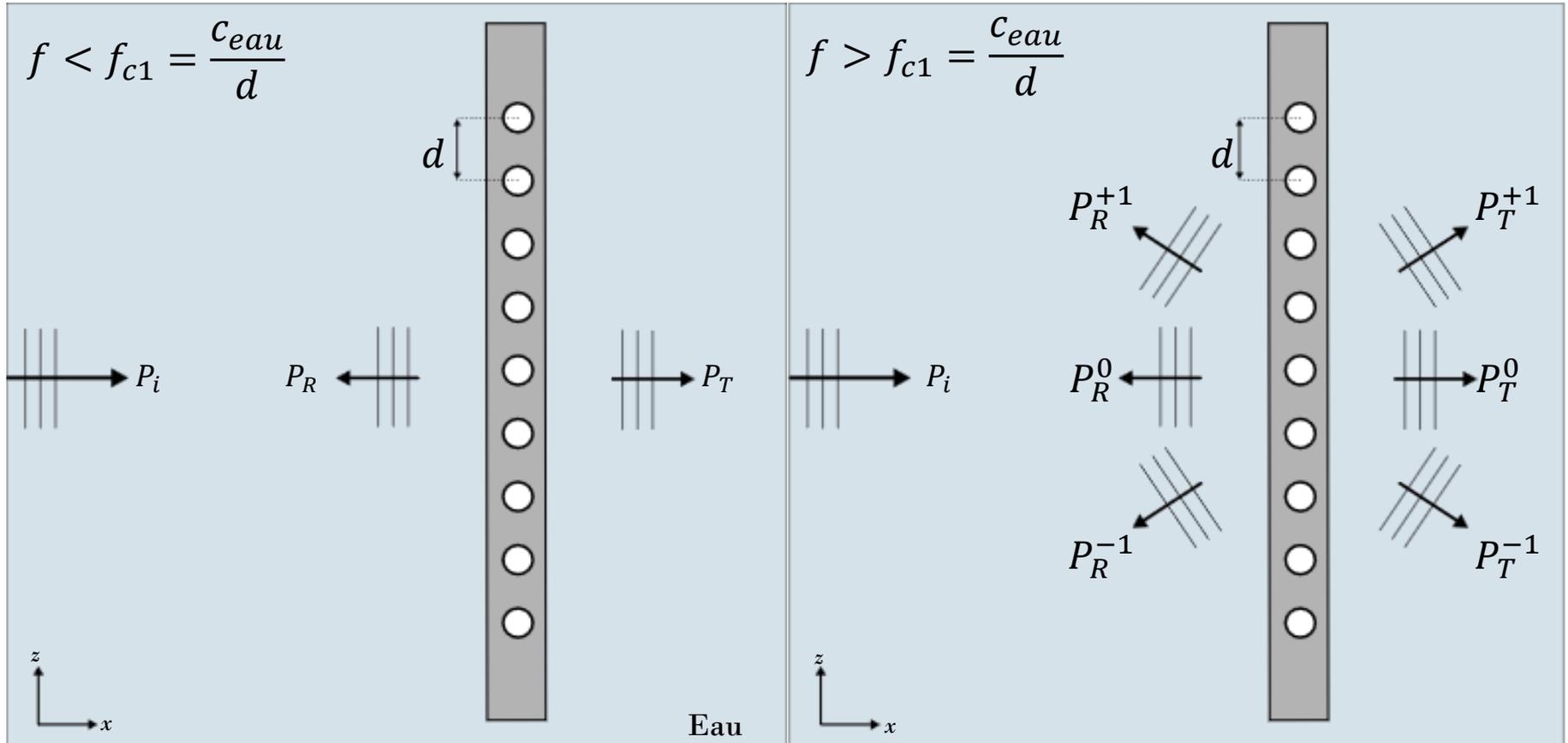
$$\begin{cases} p(A_1) = p_i(A_2)e^{-ikd_{A12}} + p_r(A_2)e^{ikd_{A12}} + p_{diff_R} \\ p(A_2) = p_i(A_2) + p_r(A_2) + p_{diff_R}(A_2) \\ p(A_3) = p_i(A_2)e^{ikd_{A23}} + p_r(A_2)e^{-ikd_{A23}} + p_{diff_R} \end{cases} \quad \begin{pmatrix} p_i(A_2) \\ p_r(A_2) \\ p_{diff_R} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-ikd_{A12}} & e^{ikd_{A12}} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ e^{ikd_{A23}} & e^{-ikd_{A23}} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} p(A_1) \\ p(A_2) \\ p(A_3) \end{pmatrix}$$

Mesures Types - Caractérisation de « matériau » en eau

- Méthode 5 points, développée dans le cadre de la caractérisation de panneau « périodique » caractérisé par des fréquences de coupure associées au réseau

Méthode 3 points OK

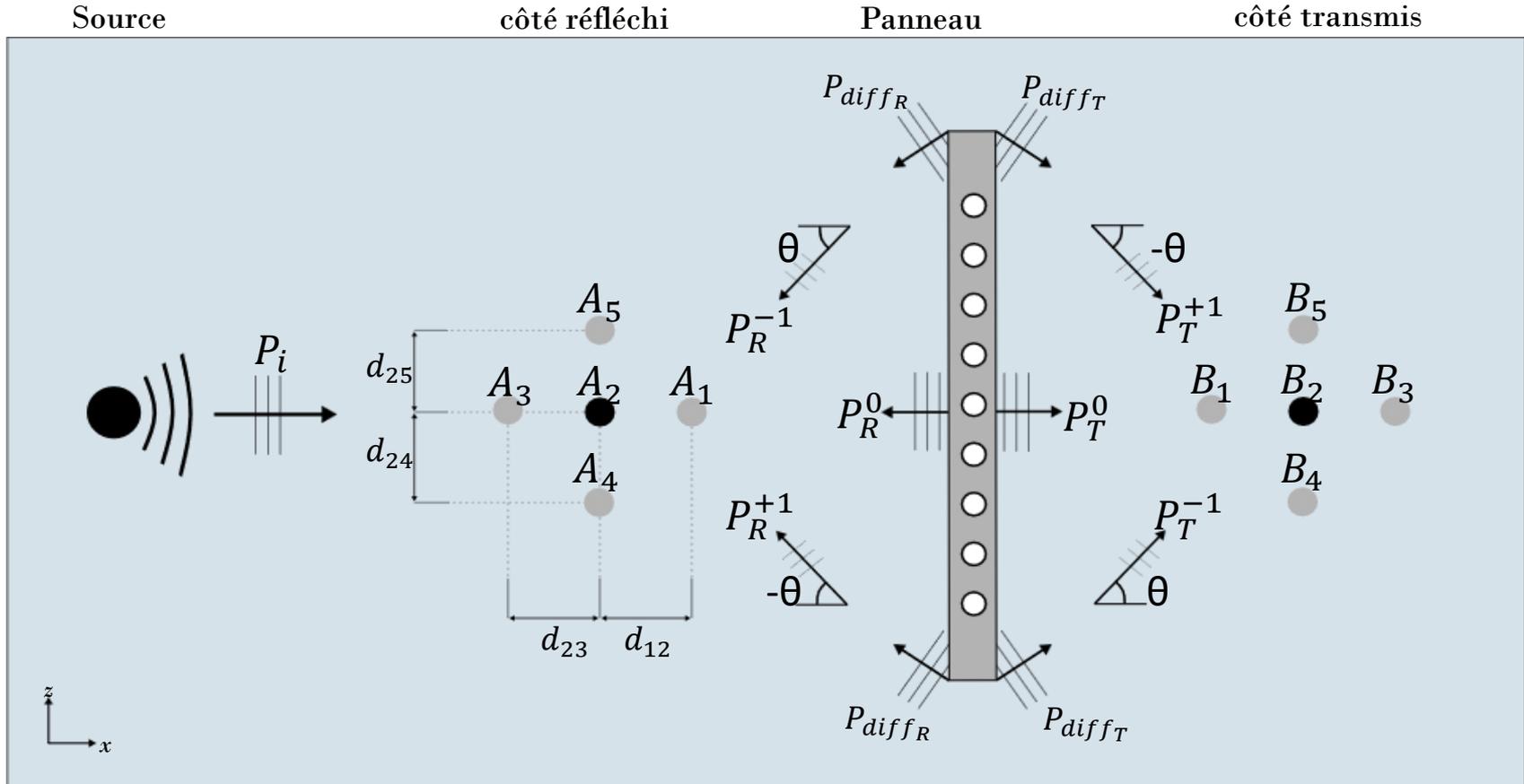
Méthode 3 points NOK



■ Méthode 5 points (suite)

Positions des hydrophones côté réfléchi

Positions des hydrophones côté transmis



■ Conclusions et perspectives des différentes méthodes

□ Méthode directe ou par insertion

Cette méthode n'est **pas complètement satisfaisante** compte tenu de la dimension finie des panneaux mesurés, même si on ne descend pas en dessous 1m x 1m. Elle peut être améliorée en effectuant un **moyennage spatial**.

□ Méthode 3 points – validée et opérationnelle

Cette méthode est **intéressante** car elle permet d'appréhender les différentes pressions mises en jeu, en particulier la pression diffractée et bien appliquée, elle donne de très **bons résultats en dessous de la fréquence de coupure** pour tous les types de matériaux testés (uniforme, structuré, « homogène » (contenant des mico-ballons)... et pour des matériaux homogènes, elle est relativement rapide puisqu'elle ne nécessite pas « beaucoup » de mesures (3 mesures sur un axe perpendiculaire au plan du panneau et dans l'axe de la source).

□ Méthode 5 points – en cours de développement/validation

Cette méthode est **intéressante pour des panneaux à réseaux périodiques** mais plus complexe car elle nécessite de relier des mesures réalisées en même temps (même setup) (5 mesures dans un plan perpendiculaire au plan du panneau). La comparaison au modèle théorique pose problème:

→ Des mesures complémentaires (cartographie des pressions devant et derrière le panneau) montrent que l'onde n'est pas plane mais plutôt sphérique. La méthode et les modèles sont en train d'être revus dans ce sens.

Conclusion et autres développements / perspectives de mesures

- ❑ Le bassin/ La cuve d'essais acoustiques, outil indispensable pour la mise au point de modules SONAR/ de matériaux utilisés en ASM.
- ❑ Le type de mesures possible est très varié et chaque type nécessite des développements à la fois mécanique et logiciels adaptés et surtout doit être validé par comparaison à des modèles sur des cas de structures/ matériaux connus pour garantir sa robustesse.
- ❑ En perspective, avec l'acquisition d'un vibromètre monopoint immergeable, association des mesures classiques avec une **mesure de vibrométrie laser dans l'eau**.
- ❑ La mesure des phases des différents signaux relevés ne sont réellement exploitables que si la **position des capteurs dans l'eau** est précisément **connue et maîtrisée**. Cette maîtrise est un axe d'amélioration important à développer en particulier pour la mesure des panneaux et les méthodes associées.
- ❑ Les mesures associées aux différentes méthodes présentées sont limitées en basse fréquence par la taille du bassin → important de s'intéresser à d'autres méthodes qui permettrait de descendre en fréquence.



Laboratoire d'Acoustique (Acoustics Team)

Département d'enseignement et de Recherche (DER/TRD) EPA
Electronique Physique Acoustique (Electronics Physics Acoustics)

Merci de votre attention

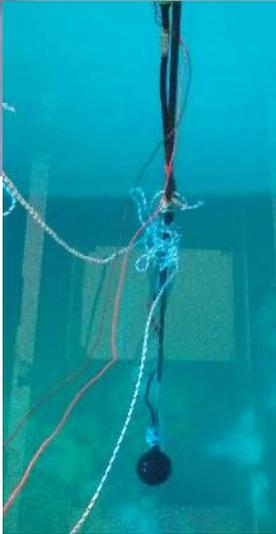
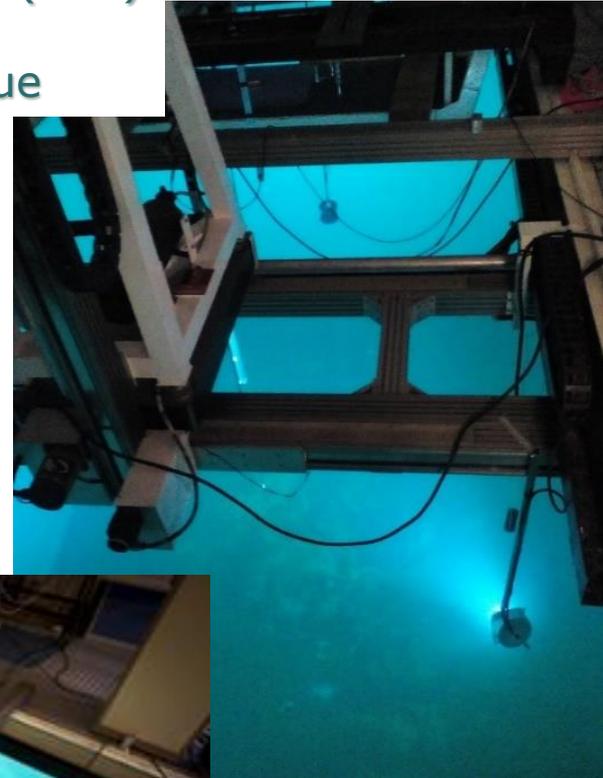
Monique POUILLE-FAVRE
[monique.pouille@junia.com]

JUNIA ISEN- Institut Supérieur de l'Electronique et du Numérique
Département EPA- Laboratoire d'Acoustique
41, Boulevard VAUBAN
59046 LILLE

JUNIA ISEN

Tél : +33 (0)3 20 30 40 50
Fax : +33 (0)3 20 30 40 51
junia.com

**Bassin d'Essais Acoustiques (BEA)
JUNIA- DER EPA
IEMN Groupe Acoustique**



Ses dimensions:
Lg 8 m - lg 6 m - P 7 m

Bassin d'Essais Acoustiques (BEA) - Historique



1986



Construction du bassin – Hangar indépendant

1998



Intégration au bâtiment ISEN

2022-2024



Reconstruction, intégration et Installation dans le nouveau bâtiment JUNIA

Laboratoire d'Acoustique
Département EPA